

**Ю. Н. КУТОВОЙ, Т. Ю. КУНЧЕНКО, И. В. ОБРУЧ, Я. А. КИРИЛЕНКО**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МАГИСТРАЛЬНОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ДСЗ**

Составлена математическая модель частотно-регулируемого электропривода магистрального электровоза ДСЗ с учётом нелинейности характеристики сцепления и особенностей контура скорости имеющего регулятор, настроенный на модульный оптимум. На модели рассчитаны пусковые режимы работы электропривода для характерных условий работы электровоза. Выполнен анализ полученных диаграмм. Установлено, что значение движущего момента меньше максимально допустимого, время разгона груженного состава и его ускорение соответствуют принятым нормативам.

**Ключевые слова:** магистральный электровоз, ДСЗ, математическая модель, структурная схема, характеристика сцепления, пусковые диаграммы.

**Ю. М. КУТОВОЙ, Т. Ю. КУНЧЕНКО, І. В. ОБРУЧ, Я. О. КИРИЛЕНКО**

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ МАГІСТРАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОВОЗА ДСЗ**

Складена математична модель частотно-регульованого електроприводу магістрального електровоза ДСЗ з урахуванням нелінійності характеристики зчеплення і особливостей контуру швидкості, що має регулятор, налаштований на модульний оптимум. На моделі розраховані пускові режими роботи електроприводу для характерних умов роботи електровоза. Виконано аналіз отриманих діаграм. Встановлено, що значення рушійного моменту менше максимально допустимого, час розгону навантаженого складу і його прискорення відповідають прийнятим нормативам.

**Ключові слова:** магістральний електровоз, ДСЗ, математична модель, структурна схема, характеристика зчеплення, пускові діаграми.

**YU. N. KUTOVOJ, T. YU. KUNCHENKO, I. V. OBRUCH, YA. A. KYRYLENKO**

## **STUDY OF THE STARTING MODES OF THE FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE OF THE MAIN ELECTRIC LOCOMOTIVE DS3**

A review of the existing mainline electric locomotives that are operated on the railway of Ukraine was conducted. Information was collected on the modern DS3 electric locomotive. A review of publications about this electric locomotive was made. The survey showed that this topic was not disclosed for research. Consequently, a mathematical model of an electrically controlled frequency converter DS3 was compiled. The mathematical model includes non-linear characteristics of adhesion and speed contour. In this mathematical model, a speed controller tuned to a modular optimum is implemented. Drive mode was modeled. To simulate operating modes, route maps of operated electric locomotives were taken on the Ukrainian railway. The analysis of the obtained transient processes during the acceleration of the electric locomotive DS3 is carried out. The transients obtained correspond to the generally accepted standards for the operation of trunk electric locomotives. In the diagrams, it is clear that the value of the driving moment is less than the maximum allowed, the time of acceleration of the load and its acceleration correspond to the accepted norms.

**Key words:** trunk electric locomotive, DS3, mathematical model, block diagram, coupling characteristic, starting diagrams.

**Введение.** Среди эксплуатируемых на железных дорогах Украины локомотивов электровоз ДСЗ имеет один из наиболее современных частотно-регулируемый электропривод с микропроцессорным управлением.

Функциональная схема электропривода электровоза ДСЗ показана на рис. 1. В качестве тягового используется асинхронный двигателя АД914У1 производства ГП «Электротяжмаш» (г. Харьков) технические характеристики, которого приведены в табл. 1.

Такой электропривод позволяет применять устройство автовождения (автопилот), устройство защиты движения локомотива (ограничения скорости на отдельных участках дороги), устройства автоматического торможения (рекуперативного торможения), устройство реализации максимальной силы тяги по условиям сцепления (защита от избыточного скольжения колес) и др.

Указанные устройства повышают безопасность движения и производительность, а также энергоэффективность перевозок [1 – 5].

**Целью работы** является создание и эффективное применение вышеперечисленных устройств автоматизации движением используя математическое моделирование, что предполагает наличие математической модели тягового электропривода.

Предлагаемая математическая модель электропривода, составлена при следующих допущениях:

- связи в механической передаче жёсткие;
- потери в тяговом трансформаторе не учитываются;
- двигатель и преобразователь частоты представлены апериодическими звеньями;
- характеристика сцепления содержит восходящий и падающий участок;
- регулятор скорости настроен на модульный оптимум;
- задатчик интенсивности обеспечивает линейный закон изменения управляющего напряжения.

С учётом этих допущений структурная схема электропривода имеет вид, показанный на рис. 2.

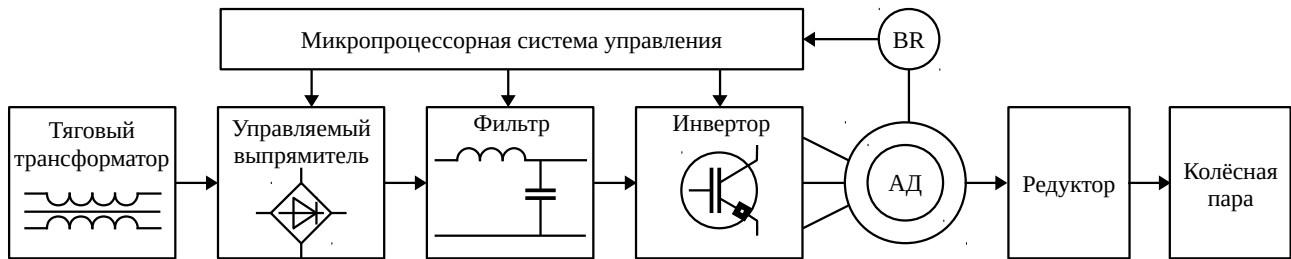


Рисунок 1 – Функциональная схема электропривода электровоза

Таблица 1 – Технические характеристики АД914У1

Наименование параметра	Значение параметра	
Режимы работы	Продолжительный	Максимальной скоростью
Мощность на валу, кВт	1200	1200
Напряжение линейное, В	1870	1870
Номинальный ток, А	450	415
Вращающий момент, Н·м	10360	3960
Скорость вращения, об/мин	1105	2900
Частота напряжения, Гц	56,0	146,8
КПД, %	95,5	95,1
Коэффициент мощности	0,88	0,92
Число пар полюсов, 2р	6	
Момент инерции двигателя, кг·м <sup>2</sup>	150	

В данной структурной схеме передаточная функция разомкнутого контура скорости  $W_{с.раз}$ , настроенного на модульный оптимум, имеет вид:

$$W_{с.раз}(p) = \frac{1}{2T_\mu} p \cdot (T_\mu p + 1) = W_{pc}(p) \cdot W_0(p), \quad (1)$$

где  $W_{с.раз}(p)$  – передаточная функция разомкнутого контура, настроенного на модульный оптимум;

$W_{pc}(p)$  – передаточная функция регулятора скорости;

$W_0(p)$  – передаточная функция неизменяемой части системы:

$$W_0(p) = \frac{K_{пч}}{T_\mu p + 1} \times \left( \frac{\beta}{T_\beta p + 1} \cdot \frac{1}{Jp} \right) / \left( 1 + \frac{\beta}{T_\beta p + 1} \cdot \frac{1}{Jp} \right) \times K_{ос}. \quad (2)$$

Таким образом, передаточная функция РС при настройке на модульный оптимум запишется как:

$$W_{pc}(p) = \frac{W_{с.раз}(p)}{W_0(p)}. \quad (3)$$

Имитационная модель электропривода (рис. 2) в MATLAB/Simulink приведена на рис. 3.

При проведении расчётов на модели изменялось количество вагонов и степень их загрузки, интенсивность пуска, вид характеристики сцепления и другие параметры. Некоторые расчётные пусковые диаграммы приведены на рис. 4 ÷ 9.

**Выводы.** Из полученных диаграмм видно, что максимальное значение момента двигателя не превышает значения критического момента –  $M_k = 35200$  Н·м. Ускорение при разгоне не более  $0,3$  м/с<sup>2</sup>, в то время как максимально допустимое на железных дорогах имеет величину  $0,7$  м/с<sup>2</sup>. Время разгона грузового состава до курсовой скорости находится в пределах 2÷3 минуты, что соответствует принятым нормативам.

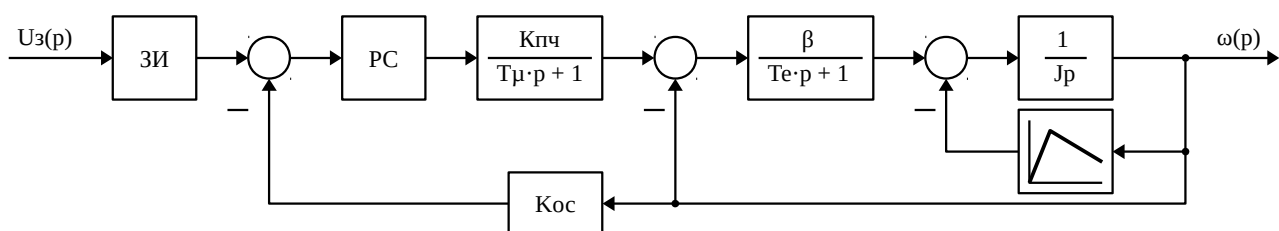


Рисунок 2 – Структурная схема электропривода, ЗИ – датчик интенсивности, РС – регулятор скорости

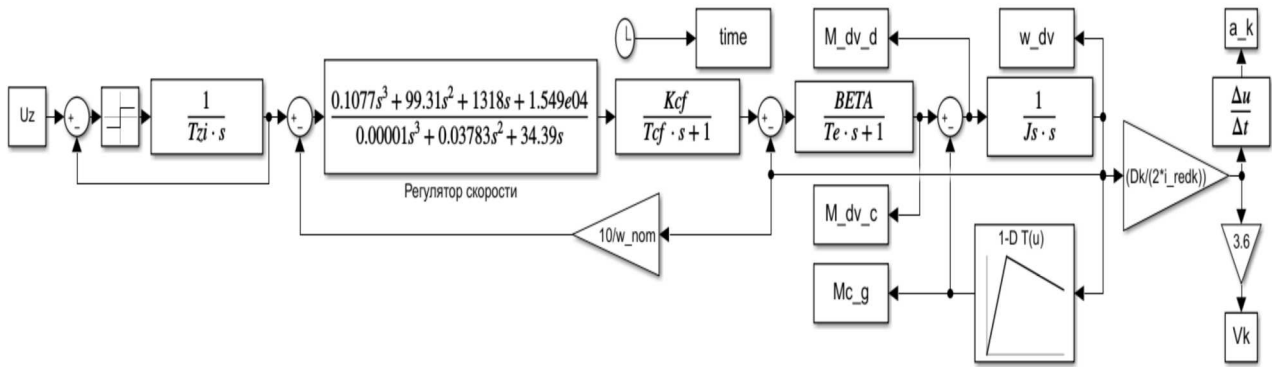


Рисунок 3 – Имитационная модель электропривода

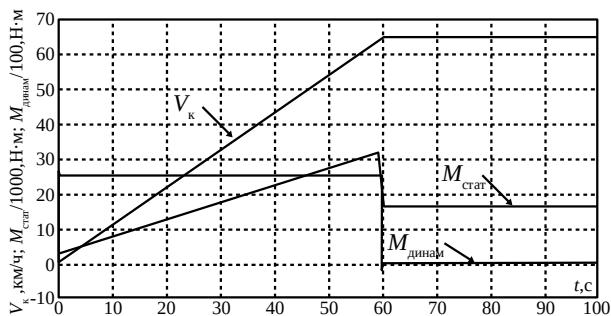


Рисунок 4 – Пусковая диаграмма при разгоне 1 минута, вес груза 10 тонн, количество вагонов 10

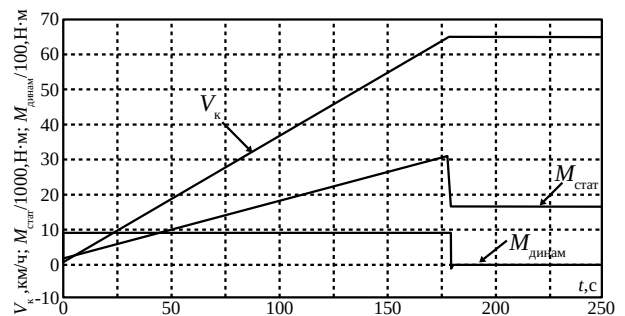


Рисунок 7 – Пусковая диаграмма при разгоне 3 минуты, вес груза 10 т., количество вагонов 10

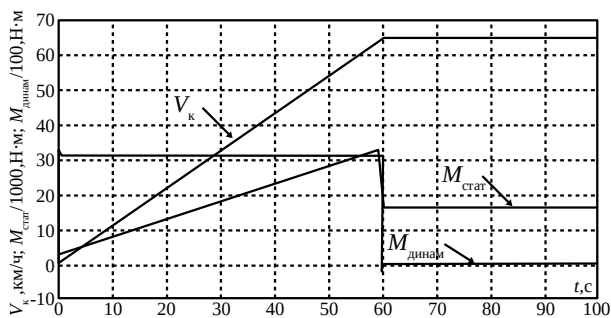


Рисунок 5 – Пусковая диаграмма при разгоне 1 минута, вес груза 15 т., количество вагонов 10

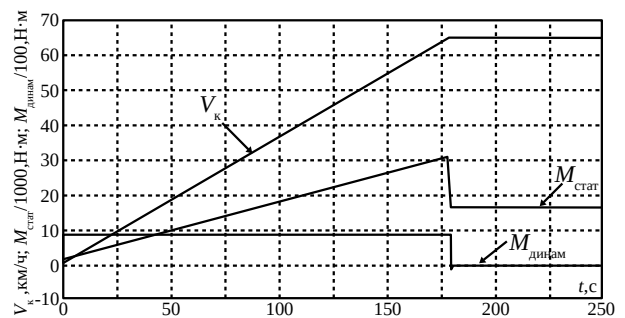


Рисунок 8 – Пусковая диаграмма при разгоне 3 минуты, вес груза 15 т., количество вагонов 10

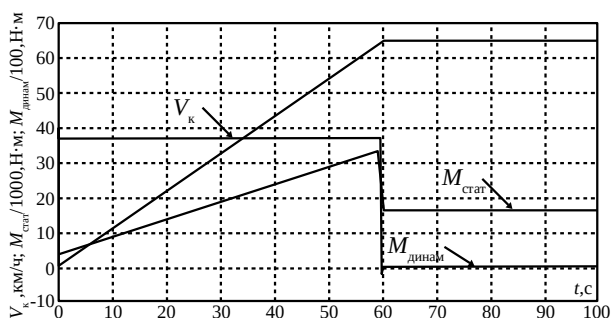


Рисунок 6 – Пусковая диаграмма при разгоне 1 минута, вес груза 10 т., количество вагонов 20

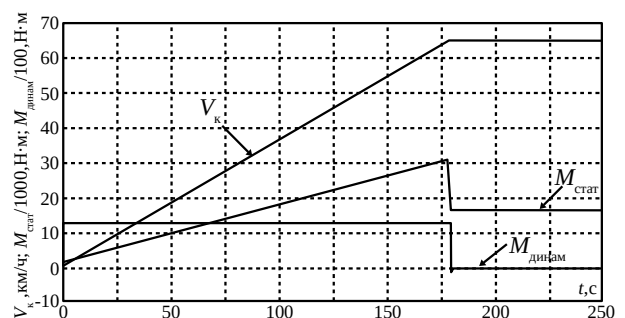


Рисунок 9 – Пусковая диаграмма при разгоне 3 минуты, вес груза 10 т., количество вагонов 20

## Список литературы

1. Луков Н. М., Космодамианский А. С. *Автоматические системы управления локомотивов: учебник*. Москва: Учеб.-методический центр по образованию на ж.-д трансп., 2007. 427 с.
2. Ротанова Н. А., Курбасов А. С., Быков Ю. Г., Литовченко В. В. Электроподвижной состав с асинхронным тяговыми двигателями. URL: <https://raillook.com/materialy/transport/jeleznodorozhnyi/tyagoviy-podviznoi-sostav>. (дата обращения 19.06.2017).3. Захарченко Д. Д., Плакс А. В., Савоськин А. Н., Некрасов В. И., Феоктистов В. П. Автоматизация электрического подвижного состава. URL: <http://library.tashiit.uz/index.php/ru/kafedry/item/1402-avtomatizatsiya-elektricheskogo-podvizhnogo-sostava>. (дата обращения 12.05.2019).
4. Тулупов В.Д. Автоматическое регулирование сил тяги и торможения электроподвижного состава. URL:<https://www.twirpx.com/file/1656235/>. (дата обращения 21.04.2015).
5. Соколов Ю. Н. Конспект для локомотивных бригад. *Электропоезда ДСЗ. Устройство, управление, обслуживание*. Киев: изд. Юго-Западной железной дороги, 2011. 299 с.
3. Zaharchenko D. D., Plaks A. V., Savos'kin A. N., Nekrasov V. I., Feoktistov V. P. *Avtomatizatsiya elektricheskogo podvizhnogo sostava* [Automation of electric rolling stock]. URL: <http://library.tashiit.uz/index.php/ru/kafedry/item/1402-avtomatizatsiya-elektricheskogo-podvizhnogo-sostava>. (accessed 12.05.2019).
4. Tulupov V.D. *Avtomaticheskoe regulirovanie sil tyagi i tormozheniya elektropodvizhnogo sostava* [Automatic control of traction and braking forces of electric rolling stock]. URL: <https://www.twirpx.com/file/1656235/>. (accessed 21.04.2015).
5. Sokolov YU. N. *Konspekt dlya lokomotivnyh brigad. Elektrovoz DS3. Ustrojstvo, upravlenie, obsluzhivanie* [Synopsis for locomotive crews. Electric locomotive DS3. Device management and maintenance]. Kiev: izd. YUgo-Zapadnoj zheleznoj dorogi, 2011. 299 p.

Поступила 15.06.2019

## References (transliterated)

1. Lukov N. M., Kosmodamianskij A. S. *Avtomaticheskie sistemy upravleniya lokomotivov: uchebnik* [Automatic Locomotive Control Systems: textbook]. Moskva: Ucheb.-metodicheskij centr po obrazovaniju na zh.-d transp., 2007. 427 p.
2. Rotanova N. A., Kurbasov A. S., Bykov YU. G., Litovchenko V. V. *Elektropodvizhnoj sostav s asinhronnym tyagovymi dvigatelyami* [Electric rolling stock with asynchronous traction motors]. URL: <https://raillook.com/materialy/transport/jeleznodorozhnyi/tyagoviy-podviznoi-sostav>. (accessed 19.06.2017).

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Кутовой Юрій Миколайович (Кутовой Юрий Николаевич, Kutovoj Yuriy Nikolaevich)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: kutovoj.yuriy@ukr.net

**Кунченко Тетяна Юріївна (Кунченко Татьяна Юрьевна, Kunchenko Tatiana Yur'evna)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: medvedeva\_1412@ukr.net

**Обруч Ігор Володимирович (Обруч Игорь Владимирович, Obruch Ihor Vladimirovich)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: obruch@kpi.kharkov.ua

**Кириленко Ярослав Олександрович (Кириленко Ярослав Александрович, Kyrylenko Yaroslav Alexandrovich)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри автоматизованих електромеханічних систем; м. Харків, Україна; e-mail: yakirilennko7@gmail.com